Boll. Soc. Hist. Nat. Balears, 33 (1989-1990): 279-286 Palma de Mallorca.

CONDUCTA DE ALGUNOS CRUDOS Y DERIVADOS DEL PETROLEO DERRAMADOS EN ARENA DE PLAYA DE BALEARES

J.R. BERGUEIRO, F. DOMINGUEZ & N. MORALES[1]

PALABRAS CLAVE: contaminación, arena de playa, capacidad de retención, área de infiltración, profundidad de penetración, saturación residual.
KEYWORDS: contamination, beach sand, soil retention capacity, area of infiltration at surface, depth of penetration, residual saturation.

RESUMEN. Se exponen los fenómenos de penetración y migración que experimenta un crudo de petróleo o una mezcla de hidrocarburos cuando están derramados sobre una arena de playa. Por último, se muestran las experiencias realizadas en orden a determinar la mayor o menor infiltrabilidad de mezclas de hidrocarburos en el subsuelo y de la capacidad de éste para retenerlas.

SUMMARY. THE BEHAVIOUR OF CRUDE OIL SPILT ON BEACH SAND. The penetration and migration phenomena of a crude oil spilt on beach sand has been studied. Likewise, experiments have been carried out to determine the infiltrability rate and retention capacity of hidrocarbons in the sub-soil.

RESUM. COMPORTAMENT D'ALGUNS CRUS DE PETROLI VESSATS SOBRE ARENA DE PLATJA DE LES ILLES BALEARS. En aquest treball s'exposen els fenòmens de penetració i migració que experimenten un cru de petroli o una mescla d'hidrocarburs en esser vessats sobre una arena de platja. Així mateix s'exposen els experiments realitzats per tal de determinar el grau d'infiltració dins el subsòl d'algunes mescles d'hidrocarburs, així com la capacitat de retenció d'aquell envers aquestes mescles.

[1] Departamento de Química. Facultad de Ciencias. Universitat de les Illes Balears. Carretera de Valldemossa Km 7.5. PALMA DE MALLORCA.

INTRODUCCION

Cuando un crudo de petróleo o un producto derivado que se derramó en el mar no puede contenerse ni recuperarse por medios mecánicos, ni tratarse con dispersantes para un emulsificación, queda flotando en la superficie del mar influenciado por los vientos, corrientes de marea etc., pudiendo llegar a contaminar las playas; tal como sucedió en los últimos accidentes de petroleros ocurridos en el Mediterráneo, o la marea negra del Golfo Pérsico. Si estas mezclas de hidrocarburos llegan a una playa penetran en la arena, dependiendo del tipo de hidrocarburo derramado, del grado de envejecimiento, al igual que de la naturaleza y tipo de arena que forme dicha playa. La recuperación y restauración de estas playas contaminadas es un proceso normalmente lento y costoso, BERGUEIRO *et al.* (1983a y b). Los objetivos de este trabajo son los de hacer un estudio de la capacidad de retención por parte de arenas de playa de las Islas Baleares, en las que se han derramado crudos de petróleo tipo Maya, Zakum e Irán Pesado; al igual que de Gas Oil y Gasolina Super 97. Igualmente se estudia la influencia de la presencia de agua de mar en la arena sobre su capacidad de retención.

COMPORTAMIENTO DE UN CRUDO DERRAMADO SOBRE ARENA DE PLAYA

Cuando un crudo de petróleo o un producto derivado se derrama sobre el suelo una parte de aquél se esparce, mientras que otra parte penetra en el mismo. La relación entre el esparcimiento y la penetrabilidad depende entre otros factores del grado de permeabilidad del suelo, de su tipo y naturaleza, del contenido en agua del mismo y del volumen y tipo de crudo derramado. Si el crudo tiene una viscosidad pequeña penetra rápidamente en el suelo, principalmente si éste es poroso, si no tiene agua y si está constituido por arena gruesa, reduciéndose entonces el área de esparcimiento. La cantidad de crudo retenido por el suelo está comprendida normalmente entre 15 y 40 litros de crudo por m^3 de suelo, siendo muy raras las retenciones residuales que exceden de 50 l/m^3. La velocidad de penetración depende tanto del suelo como del crudo. Suelos constituidos por grava gruesa y crudos de pequeña viscosidad suministran la combinación con velocidad de penetración más rápida. La profundidad máxima de penetración puede estimarse, CONCAWE (1979), mediante la siguiente ecuación:

$$D = \frac{1000 \cdot V}{A \cdot R \cdot K} \quad [1]$$

Siendo:

D = Máxima profundidad de penetración (m).
V = Volumen de crudo derramado (m^3).
R = Capacidad de retención del suelo (l/m^3).
A = Area de infiltración (m^2).
K = Factor de proporcionalidad dependiente de la viscosidad de la mezclas. Sus valores son:
* 0,5 para productos de baja viscosidad como gasolinas.
* 1,0 para keroseno, gas-oil y productos de similar viscosidad
* 2,0 para crudos viscosos y mezclas de hidrocarburos como fuel-oil ligero.
* Para mezclas muy viscosas, K tiende a infinito.

Las capacidades típicas de retención de algunos suelos se presentan en la tabla 1. Así, 1 m^3 de keroseno derramado sobre un área de 10 m^2, se infiltraría hasta una profundidad de 20 metros, cuando se derrama sobre arena formada por piedras y grava gruesa. Esta profundidad se reduce a un máximo de 6,7 metros si se derrama sobre arena media o gruesa y solamente a 2,5 metros si se trata de arena fina o sólidos de tipo sedimento.

Tipo de suelo	Capacidad de retención de crudo $l.m^{-3}$
Piedras - grava gruesa	5
Grava - arena gruesa	8
Arena gruesa - arena de tamaño medio	15
Arena tamaño medio - arena fina	25
Arena fina - sedimento	40

Tabla 1. Capacidades de retención de algunos tipos de suelos.

Retention capacities of some soils.

Durante su penetración el crudo puede encontrar una capa de agua subterránea o el borde capilar de la misma; si el volumen de crudo es suficiente elevado, primero forma sobre la capa de agua un lecho de espesor creciente bajo la influencia del propio crudo descendente. Este ejerce una presión hi-

drostática que produce un descenso en el nivel freático. Las fuerzas gravitatorias actúan en el sentido de restablecer el nivel inicial del agua y producen un desplazamiento lateral del crudo hacia las zonas de menor nivel freático. La heterogeneidad del subsuelo influye en la dirección de migración subterránea del crudo, lo que es particularmente importante en suelos que presentan fisuras y con estratos de distinta permeabilidad. Durante la migración el crudo puede adherirse a partículas de rocas por absorción y por fuerzas capilares.

La velocidad con la que el crudo se esparce sobre la capa de agua varía considerablemente con el tiempo. En la bibliografía, CONCAWE (1974) y CONCAWE (1981) hay descritos modelos físicos y matemáticos mediante los cuales se pretende valorar la extensión del fenómeno. La ecuación (2) correlaciona las magnitudes influyentes.

$$S = \frac{1000V - ARhK}{F} \quad [2]$$

donde:

S = Extensión máxima del crudo sobre la capa de agua (m^2)
V = Volumen de crudo infiltrado (m^3)
A = Area de infiltración en la superficie (m^2)
R = Capacidad de retención del suelo situado sobre el nivel freático ($l.m^{-3}$)
h = Profundidad de la capa de agua (m)
F = Cantidad de crudo que llega a la capa de agua por unidad de superficie de ésta ($l.m^{-2}$)
K = Factor de proporcionalidad dependiente de la viscosidad del crudo, definido como en la ecuación [1]

Los resultados obtenidos mediante esta ecuación son aproximados y la exactitud de su estimación puede estar influída además por fenómenos como los que se citan a continuación:

1) Las fluctuaciones que se producen en el nivel de la capa de agua. Debido a las mismas el crudo puede entrar en contacto con partes del suelo que previamente no habían sido mojadas por el mismo durante su penetración, lo que ocasiona una retención parcial de crudo por este terreno y reduciéndose por tanto el volumen de crudo libre sobre la capa de agua. Igualmente cuando estas fluctuacioanes se producen en terrenos formados por rocas

fracturadas puede producirse un lavado del crudo retenido por estas rocas e incrementarse el volumen de crudo libre sobre el agua.

2) El grosor de crudo sobre la capa de agua puede no ser uniforme debido a la acción capilar del terreno, tal y como demuestran VAN DAM (1967), ZILLIOX & MUNTZER (1975), WILLIAMS & WILDER (1971).

METODOLOGÍA Y RESULTADOS

En nuestras experiencias determinamos la capacidad de retención de varios crudos y de otras mezclas de hidrocarburos por parte de la arena de playa de tipo calcáreo, como son las que normalmente forman las playas de las Islas Baleares, sobre la que estaban derramados. Igualmente, se determina la infiltrabilidad de dichas mezclas en la arena.

Para la realización de nuestras experiencias se utilizaron tres tipos de arena de playa de las Islas Baleares obtenidas por tamizado de la misma, una vez desechados los guijarros, conchas y otras partículas de gran tamaño, así como la fracción polvorienta (presente en proporción muy pequeña). Estos tres tipos de arena de trabajo son: arena de playa normal o arena sin tamizar; arena gruesa, cuyos granos tienen un diámetro comprendido entre 0,5 y 1 mm y la arena media o fracción cuyos granos tienen un diámetro comprendido entre 0,25 y 0,5 mm.

Los crudos de petróleo utilizados fueron de los tipos Maya, Zakum e Irán Pesado; las otras mezclas de hidrocarburos utilizados fueron: Gas-Oil, y Gasolinas Normal (90 octanos) y Super (97 octanos). Por último, se estudió la influencia que la presencia de agua en la arena ejerce en la capacidad de retención de la Gasolina Super y por lo tanto en la infiltrabilidad de aquella en la arena.

Inicialmente, se colocaron 400 cc de cada uno de los tres tipos de arena, en columnas circulares de vidrio de 5 cm de diámetro por 20 cm de altura. Las densidades relativas resultantes de estas arenas fueron: arena normal $d=1,5211\ g.cm^{-3}$; arena gruesa $d=1,4954\ g.cm^{-3}$ y arena media $d=1,5658\ g.cm^{-3}$

En la parte inferior de las columnas se colocó una pequeña capa de algodón sujeta mediante un sistema vigreux que impedía la caída de la arena. Se determinó previamente la cantidad de mezcla de hidrocarburos que era capaz de retener el algodón.

Los parámetros que se determinaron inicialmente en estas experiencias fueron:

a) Volumen retenido por una misma cantidad de arena para cada tipo de ésta y mezcla de hidrocarburos; para ello se inunda la arena colocada en la columna con un volumen conocido de cada una de las mezclas de hidrocarburos y se compara con el volumen recogido, una vez transcurridas 24 horas.

b) La capacidad de retención o relación entre el volumen retenido y el volumen ocupado por la arena.

c) El volumen de infiltración o volumen que hay que añadir para que la mezcla de hidrocarburos llegue al fondo de la columna.

Determinados estos parámetros se calculó el factor K de la ecuación [1]. Los valores de estos parámetros se presentan en la tabla 2.

Arena (tipo)	volumen arena (cm^3)	Mezcla Hidroc. (cm^3)	Volumen Infiltr. (cm^3)	Volumen Retenido (cm^3)	Capacidad Retención $l.cr.m^{-3}$ ar	Factor K
Normal	400	Maya	53.00	111.00	277.50	0.72
Media	400	Maya	56.00	118.00	295.00	0.71
Gruesa	400	Maya	49.00	91.00	227.50	0.81
Normal	400	Zakum	33.50	84.50	211.25	0.60
Media	400	Zakum	43.00	86.00	215.00	0.75
Gruesa	400	Zakum	28.00	79.50	198.75	0.53
Normal	400	Irán P.	49.00	101.00	252.50	0.73
Media	400	Irán P.	59.20	110.00	275.00	0.81
Gruesa	400	Irán P.	37.30	96.00	240.00	0.58
Normal	400	Gas Oil	76.00	101.50	253.75	1.13
Media	400	Gas Oil	96.00	105.50	263.75	1.37
Gruesa	400	Gas Oil	68.00	74.00	185.00	1.38
Normal	400	Super	50.30	63.45	158.63	0.89
Media	400	Super	51.30	65.50	163.75	0.88
Gruesa	400	Super	49.20	58.60	146.50	0.95

Tabla 2. Influencia del tipo de arena en la capacidad de retención de crudo de petróleo y derivados.
Size beach sand influence on oil and derivates retention capacity.

A continuación, se llevaron a cabo nuevas experiencias con los tres tipos de arena, en las mismas condiciones que las citadas anteriormente, con la

única diferencia de que la arena se había inundado previamente con agua de mar. Una vez que la capacidad de retención de la arena con respecto al agua permanecía constante, se derramaba la gasolina y se determinaban nuevamente las cantidades de gasolina y agua que quedaban retenidas. Estos valores, al igual que los de la capacidad de retención con respecto a la gasolina Super se muestran en la tabla 3.

Tipo de arena	Agua retenida (cm^3)	Gasolina retenida (cm^3)	Capacidad retención ($l.cr.m^{-3}$ ar.)
Gruesa	57.00	28.43	71.08
Gruesa	0.00	58.60	146.50
Normal	71.00	36.00	90.00
Normal	0.00	63.45	158.63
Media	71.50	55.83	139.58
Media	0.00	65.50	163.75

Tabla 3. Influencia de la presencia de agua en la capacidad de retención de la Gasolina Súper.

Water influence on beach sand retention capacity of Gasoline 97 Octanes.

CONCLUSIONES

De los resultados de nuestras experiencias se llega a la conclusión de que la capacidad de retención es mínima para la arena gruesa, a continuación la de tipo normal; mientras que la arena de tipo medio es la que presenta el valor mayor. Esta secuencia se cumple también para el volumen retenido y para el volumen infiltrato de todas las mezclas estudiadas. No se han encontrado diferencias apreciables en los valores de estos parámetros para las gasolinas de tipo Normal y Súper. El conocimiento del valor de estos parámetros es de gran importancia a la hora de estudiar las velocidades de evaporación de mezclas de hidrocarburos derramados en arenas de playa de diferente granulometría. De estudios de estos autores utilizando los mismos tipos de arena llegan a la conclusión de que independientemente de la cantidad y tipo de hidrocarburo derramado, la arena que produce la mayor velocidad de evaporación es la de tipo grueso, que como se indicó es la que menor capacidad de retención

tiene, mientras que la arena de tipo medio es la que presenta la menor velocidad de evaporación y la mayor capacidad de retención. La arena de tipo normal, en ambos casos, es la que presenta valores intermedios.

El valor del factor K está comprendido entre 0,60 para la arena de tipo normal y crudo de petróleo de tipo Zakum y máximo para la arena gruesa con Gas Oil. Sus valores estan siempre comprendidos entre 0,5 y 2 que son los valores indicados en la ecuación [1].

Si la arena tiene retenida agua de mar, tal como sucede en las capas más inferiores de las playas, la capacidad de retención de los hidrocarburos disminuye considerablemente. Así una arena de tipo normal acompañada de 71 cm^3 de agua de mar retiene 36 cm^3 de gasolina y tiene una capacidad de retención de 90 litros de gasolina por m^3 de arena; mientras que los valores de estos mismos parámetros con arena seca son de 63,45 y 158,63 respectivamente.

BIBLIOGRAFÍA

BERGUEIRO, J. R.; DOMINGUEZ, F. & MULET, A. 1983a.– Tratamaiento de Mareas Negras, II. Procesos de Envejecimiento. *Ingeniería Química.* Enero: pp. 109-120.

BERGUEIRO, J.R.; DOMINGUEZ, F. & MUNAR, G. 1983b.– Tratamiento de Mareas Negras IV. Métodos de Eliminación de crudo y limpieza de Costas. *Ingeniería Química.* Marzo, pp. 139-149.

CONCAWE, 1974.– *Oil spill clean-up manual.* Repp. No. 4/74, The Hague. 103 pp.

CONCAWE, 1979.– *Protection of Groundwater from Oil Pollution.* Repp. No. 3/79. 61 pp.

CONCAWE 1981.– *Revised Inland Oil Spill Clean-up Manual.* Repp. No. 7/81. 1152 pp.

VAN DAM 1967.– The Migration of hydrocarbons in a water-bearing stratum. In: *The joint problems of the oil and water industries,* Proc. Symposium (Brighton, 18-20 Jan). P. Happle ed. Londres. The Institute of Petroleum: pp: 55-88.

WILLIAMS, D.E. & WILDER, D.G. 1971.– Gasoline pollution of a groundwater reservoir. A case history. *Groundwater,* 9 (6): 50-56.

ZILLIOX, L. & MUNTZER, P. 1975.– Effect of hydrodynamic processes on the development of groundwater pollution. *Progress in Water Technology,* 7 (3/4): 561-568.